

58 0 845532

## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 11-050210

(43)Date of publication of application : 23.02.1999

(51)Int.Cl.

C22C 38/00  
B22F 3/24  
C21D 6/00  
C22C 33/02  
C22C 38/16

(21)Application number : 09-202873

(71)Applicant : SUMITOMO ELECTRIC IND LTD

(22)Date of filing : 29.07.1997

(72)Inventor : TAKIGAWA TAKATOSHI  
KOUNO YOSHIE  
AKECHI KIYOAKI  
ITO YOSHIAKI  
ITO KOZO

## (54) FERROUS SINTERED ALLOY PART AND PRODUCTION THEREOF

## (57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To obtain parts excellent in cost effectiveness, wear-resistance and dimensional precision by allowing a part to have a specified compsn. contg. Cu, Mo, C and the balance Fe with inevitable elements.

SOLUTION: The sintered alloy parts have a compsn. contg., by weight, 0.2 to <0.5% Cu, 1.0 to <2.0% Mo, 0.65 to <1.2% C, and the balance Fe with inevitable elements. C is essential for hardening the sintered alloy and realizes its wear resistance. Mo increases its hardenability and solid solution hardening. Cu suppresses its dimensional change at the time to sintering and maintains the high dimensional precision after compression molding. Namely, by Cu having expanding action at the time of sintering to the contraction action of C and Mo, its dimensional change is suppressed. This alloy parts are produced by subjecting powder having the above compsn. to compression molding, sintering the molded body and quenching the same while compression is executed from the Ae1 point or above in a die.

## LEGAL STATUS

[Date of request for examination] 24.08.1998

[Date of sending the examiner's decision of rejection] 10.07.2001

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平11-50210

(43) 公開日 平成11年(1999) 2月23日

(51) Int.Cl.<sup>8</sup>

識別記号

F I

C 2 2 C 38/00

3 0 4

C 2 2 C 38/00

3 0 4

B 2 2 F 3/24

B 2 2 F 3/24

B

C 2 1 D 6/00

C 2 1 D 6/00

R

C 2 2 C 33/02

C 2 2 C 33/02

A

38/16

38/16

審査請求 有 請求項の数 9 O L (全 8 頁)

(21) 出願番号

特願平9-202873

(22) 出願日

平成9年(1997) 7月29日

(71) 出願人 000002130

住友電気工業株式会社

大阪府大阪市中央区北浜四丁目5番33号

(72) 発明者 瀧川 貴稔

兵庫県伊丹市昆陽北一丁目1番1号 住友  
電気工業株式会社伊丹製作所内

(72) 発明者 ▲高▼ノ 由重

兵庫県伊丹市昆陽北一丁目1番1号 住友  
電気工業株式会社伊丹製作所内

(72) 発明者 明智 清明

兵庫県伊丹市昆陽北一丁目1番1号 住友  
電気工業株式会社伊丹製作所内

(74) 代理人 弁理士 深見 久郎 (外2名)

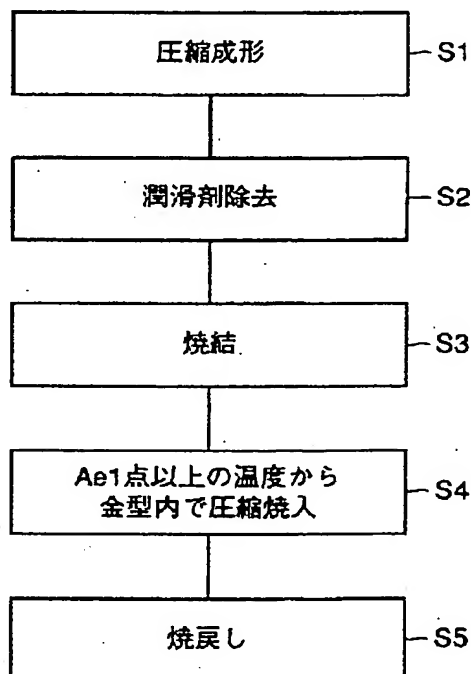
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 鉄系焼結合金部品およびその製造方法

(57) 【要約】

【課題】 経済性、耐磨耗性および寸法精度に優れた鉄系焼結合金部品およびその製造方法を提供する。

【解決手段】 重量比にして0.2%以上0.5%未満のCu、1.0%以上2.0%未満のMo、0.65%以上1.2%未満のC、および不可避な元素を含み、残部がFeよりなっている。この鉄系焼結合金部品は、圧縮成形工程と焼結工程を経た後、金型内で圧縮しながら焼入れされることで製造される。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 重量比にして0.2%以上0.5%未満のCu、1.0%以上2.0%未満のMo、0.65%以上1.2%未満のC、および不可避な元素を含み、残部がFeである、鉄系焼結合金部品。

【請求項2】 前記鉄系焼結合金部品は、カムシャフトを挿通可能な孔を有するカムロブ部品である、請求項1に記載の鉄系焼結合金部品。

【請求項3】 密度が $7.4\text{ g/cm}^3$ 以上である、請求項1に記載の鉄系焼結合金部品。

【請求項4】 体積比にして残留オーステナイト相が15%未満であり、ロックウェル硬さ(Aスケール: HRA)が75以上である、請求項1に記載の鉄系焼結合金部品。

【請求項5】 重量比にして0.2%以上0.5%未満のCu、1.0%以上2.0%未満のMo、0.65%以上1.2%未満のC、および不可避な元素を含み、残部がFeとなる焼結体を製造する鉄系焼結合金部品の製造方法であって、

粉末を圧縮成形して成形体を形成する工程と、前記成形体を焼結して焼結体を形成する工程と、前記焼結体を金型内で圧縮しながら焼入れする工程とを備えた、鉄系焼結合金部品の製造方法。

【請求項6】 前記焼結体をAe1点以上の温度から前記金型内に入れて圧縮しながら焼入れする、請求項5に記載の鉄系焼結合金部品の製造方法。

【請求項7】 前記粉末として前記C以外の添加元素成分が予め固溶した鉄粉を用いる、請求項5に記載の鉄系焼結合金部品の製造方法。

【請求項8】 前記焼結体は $7.2\text{ g/cm}^3$ 以上の密度を有している、請求項5に記載の鉄系焼結合金部品の製造方法。

【請求項9】 前記金型内で圧縮しながら焼入れされた後に $140^\circ\text{C}$ 以上 $250^\circ\text{C}$ 以下の温度で大気中で加熱する工程をさらに備える、請求項5に記載の鉄系焼結合金部品の製造方法。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、鉄系焼結合金部品およびその製造方法に関し、より特定のには、粉末冶金法により得られた高密度、高硬度および高寸法精度の鉄系焼結合金部品およびその製造方法に関するものである。

## 【0002】

【従来の技術】粉末冶金法により得られる鉄系焼結合金には、切削などの加工を極力抑えることができるニアネットシェイプの機械部品を製造できるという利点がある。このため、最近では、従来の鉄系鑄造部品などに代わって種々の分野でこの鉄系焼結合金が使用されるようになってきた。さらなる高強度および高硬度を必要とす

る分野では、鉄系焼結合金に焼入れおよび焼戻しなどの熱処理を行なうことができ、こうした処理により高強度化および高硬度化した鉄系焼結合金はエンジンのオイルポンプやギヤのような自動車部品などとして使用されてきた。

【0003】近年の自動車や産業機械の軽量化および高性能化のニーズを受けて、これら鉄系焼結合金部品の一層の高強度化の要求が増している。自動車エンジンのカムシャフトは、そうした要求のある部品の1つである。

【0004】従来、このカムシャフトには、(1)鑄造による一体成形および追機械加工による寸法仕上げによる、いわゆる鑄造カムシャフト、および(2)鋼製のシャフトに、溶製鋼の鍛造で作製あるいは液相粉末焼結法で作製し上記同様、追機械加工による寸法仕上げによるカムロブを組合せて製造する、いわゆる組立カムシャフトの2種類があった。

【0005】(1)の鑄造カムシャフトは比較的に安価であり最も多用されるが、カム部の高精度な機械加工を要する部分が多く、さらに経済的に作製するには限度がある。また等加速度カムあるいはコーンケープカムと称される複雑な曲面を有するカム形状には、機械加工そのものが困難であり、また鑄造可能な材料に限られるという制約があった。

【0006】一方、(2)の組立カムシャフトは、カムに要求される性能に応じて合金成分を選択でき、軸を中空化しやすいために軽量化しやすいという長所を有する。しかし、カムロブの作製方法が液相粉末焼結法、鍛造方法であるため、寸法制御が困難であり、(1)の鑄造カムシャフトと同じく機械加工が多く経済的ではないという問題点があった。

## 【0007】

【発明が解決しようとする課題】上記(1)の鑄造カムシャフトより優れた経済性および(2)の組立カムシャフトの軽量、高性能化の両立を実現するためには、組立カムシャフトにおいてカムロブの機械加工を極力少なくする必要がある。

【0008】このカムロブに要求される特性として、

(a) バルブ開閉を正確に行なうための高い寸法精度、および(b) 駆動時に直接接する部分の耐磨耗性が必要である。

【0009】粉末の成形圧縮-潤滑剤除去-焼結の基本的な粉末冶金方法によれば、液相焼結するような材料を選択した場合、焼結中に液相現出-原子拡散の加速により、緻密で耐磨耗性の高い特性を期待できる。しかし、液相焼結では急激な緻密化による寸法収縮が大きく、形状に歪が生じやすいので要求される高い寸法精度を実現するために追機械加工が必要となり、経済的に作製することができない。一方、固相焼結を用いた場合、緻密化が進まず、体積率にして10%程度の空孔が残存する。収縮が液相焼結ほど大きくないため寸法精度を満足でき

る可能性が高いが、そのままでは上記空孔のため耐摩耗が満足できない。

【0010】この空孔による磨耗劣化を改善する目的で、焼入れによる熱処理を用いて硬度を増加させることが可能である。しかし、この方法を用いても、最近の高回転エンジンでは依然磨耗程度を改善できないばかりか、焼入れ時の冷却速度のばらつきや焼入れ組織への変態による結晶歪などにより高い寸法精度を維持することができなくなる。

【0011】また空孔を減少させるために焼結体をさらに再加熱した後、室温で再圧縮する、いわゆる2回圧縮2回焼結法がある。しかし、この方法でも、熱処理はやはり必要であるため、寸法精度を維持することができない。

【0012】それゆえ、本発明の目的は、経済性、耐摩耗性および寸法精度に優れた鉄系焼結合金部品およびその製造方法を提供することである。

【0013】

【課題を解決するための手段】本発明の鉄系焼結合金部品は、重量比にして0.2%以上0.5%未満のCu、1.0%以上2.0%未満のMo、0.65%以上1.2%未満のC、および不可避な元素を含み、残部がFeである。

【0014】鉄系焼結合金を焼入れするためには、C（カーボン）が必須であり、耐摩耗を実現するには、0.65重量%以上必要である。Mo（モリブデン）は焼入れ性と固溶硬化とを高める役割をなし、カーボンとの組合せにおいて十分な焼入れ硬化を得るには1.0重量%以上必要である。また成形圧縮時に高い緻密性を実現するには、Cは1.2重量%未満、Moは2重量%未満でなければならない。特にCは比重が低く、脆いのでこれ以上添加すると著しく圧縮性を阻害する。

【0015】焼結時の寸法変化を抑制し、圧縮成形後の高い寸法精度を維持するためにCu（銅）が添加されている。つまりC、Moの双方には収縮作用があるので、焼結時に膨張作用するCuを添加することで、焼結時の寸法変化が抑制されるのである。上記添加量範囲のC、Moの収縮作用に対抗するには、0.2重量%以上のCuが必要である。一方、Cuの偏析を直接の原因とする焼結時の不均一収縮による寸法精度の劣化を防止するためには、Cuは0.5重量%未満であることが必要である。

【0016】上記局面において好ましくは、鉄系焼結合金部品は、カムシャフトを挿通可能な孔を有するカムロブ部品である。

【0017】上記組成を有する鉄系焼結合金部品は、高密度、高硬度および高寸法精度を有しているため、カムシャフト用の組立孔を有するカムロブ部品の材料として適している。

【0018】上記局面において好ましくは、鉄系焼結

金部品の密度が $7.4 \text{ g/cm}^3$ 以上である。

【0019】また上記局面において好ましくは、体積比にして残留オーステナイト相が15%未満であり、ロックウェル硬さHRAが75以上である。

【0020】上記添加量範囲の粉末冶金で作製したカムの耐摩耗性を実現するためには、 $7.4 \text{ g/cm}^3$ 以上の密度と75以上の硬度HRAが必要である。特にこの硬度HRAは、高温相であるオーステナイト相から急冷させて硬度の高い均質なマルテンサイト相を得ることで実現できる。これより低い密度および硬度では、残存する空孔から磨耗が発生し、成長する。焼入れ後は、ほとんど結晶相は、硬化相であるマルテンサイト相に変態するが、変態せずに残留する変態前のオーステナイト相も存在する。このオーステナイト相はマルテンサイト相に比較すると硬度が著しく低く、用途によっては外部からの負荷応力に対して粘り、すなわち靱性を発現させて有利に働くこともあるが、カムロブのような耐摩耗が主眼となる構造部品においては15体積%未満に抑制される必要がある。そのため焼入れ性を高めるために添加する元素の種類、量に注意を払う必要がある。上記元素の添加量範囲では、オーステナイト相が5体積%程度になることは不可避であるが、15体積%以上になることはない。

【0021】本発明の鉄系焼結合金部品の製造方法は、重量比にして0.2%以上0.5%未満のCu、1.0%以上2.0%未満のMo、0.65%以上1.2%未満のC、および不可避な元素を含み、残部がFeとなる焼結体を製造する方法であって、粉末を圧縮成形して成形体を形成する工程と、その成形体を焼結して焼結体を形成する工程と、その焼結体を金型内で圧縮しながら焼入れする工程とを備えている。

【0022】鉄系焼結合金部品を実際のカムロブ部品として製造する場合、耐摩耗に必要な、上記のような密度、硬度、材料特性を満足させた上で、最終工程である焼入れ焼戻し後の形状歪およびそれに伴う寸法精度劣化を抑制する必要がある。特に本部品を経済的に製造するためには、エンジンバルブを駆動する相手部品と直接接触する本部品の外側側面に追機械加工を行わずに高い寸法精度を実現する必要がある。寸法精度の劣化は寸法変化に起因しており、粉末冶金法の各工程においては以下の寸法変化が生じる。

【0023】(i) 粉末の成形圧縮工程：圧粉後に、金型内から成形体を取り出した際、金型内で拘束されたことによる弾性応力が解放され、金型より大きい寸法となる。

【0024】(ii) 潤滑剤除去焼結工程：これらは同一加熱炉内で連続で行なうことが多いが、潤滑剤除去時は一般に600℃程度の温度で処理される。このため、この時点では隣接粉末間の原子拡散は進まないため緻密化は進まず、したがって寸法変化もほとんどない。

しかし、次の焼結工程では、原子拡散が進む1100～1300℃で処理されることで緻密化して密度が高くなるため、寸法収縮量は大きい。

【0025】(iii) 焼入れ-焼戻し工程：後述するように、本鉄合金では結晶格子中にC原子が過剰に侵入した状態となり、焼結終了後より寸法は大きくなる。そして焼戻しによりC原子の一部が炭化物として本鉄合金の結晶格子中より放出されるので、再度寸法は収縮する。

【0026】寸法ばらつきに影響する工程は、(ii)の焼結工程および(iii)の焼入れ工程である。焼結工程が影響する原因は他工程に比較して最も寸法変化が大きいためである。粉末圧縮成形工程の金型に対する平均寸法変化率が0.1%未満、焼入れ工程での焼結体に対する平均寸法変化率が0.1%未満、焼戻し工程での焼入れ体に対する平均寸法変化率が-0.05%程度である。これに対して、焼結工程での成形体に対する平均寸法変化率は0.1～0.5%にもなる。寸法の変位が大きければ、ばらつきも大きくなる。

【0027】次に、焼入れ工程が影響する原因は、部品に対する熱履歴がばらつき、部品形状の歪が大きくなることによる。800～900℃以上の高温から、室温～100℃程度の低温に100～200℃/秒程度で急冷されるので、部品表面と内部との温度差が大きく、質量効果による熱膨張差によって歪が生じる。また表面と内部とでオーステナイト相からマルテンサイト相への変態時期が異なることも歪の生ずる要因の1つである。形状が大きく歪むので寸法ばらつきは焼結工程で生じるそれよりもさらに大きい。

【0028】焼結工程での寸法変位大による寸法ばらつき大は、冒頭で説明したように少量のCu添加範囲により抑制できる。残る焼入れ工程での形状歪による寸法ばらつきは、添加元素で対策することは不可能である。急冷中に部品表面と内部との温度差が生じることは不可避である。しかし、高剛性の固体物質で部品形状に拘束しながら急冷できるならば、形状歪を抑え込みながら焼入れできるはずである。

【0029】以上のことを鋭意検討した結果、通常の成形圧縮-焼結後にオーステナイト相まで加熱し、金型内で再圧縮中に焼入れし、マルテンサイト変態開始より低い温度まで冷却してから金型から取出す方法が本カムロブ部品の製造上最も有効であることを見出した。それゆえ、本発明の鉄系焼結合金部品の製造方法は、上述したように、焼結体を金型内で圧縮しながら焼入れする工程を特徴的な構成要件として含んでいる。

【0030】焼入れ時の寸法精度のばらつきを極限まで小さくできることを前提に、この発明の利点は、以下の(A)、(B)のとおりである。

【0031】(A) 特殊なプレス機構および金型材質を必要とせず経済的に製造することができる。(B) オー

ステナイト化して高温軟化した焼結体を再圧縮することになるので変形抵抗が小さく、焼結体内部に分散している空孔を潰して密度を向上させる作用が大きく、カムロブに必要な硬度を容易に得ることができる。

【0032】ところで本発明の必要要件は、圧縮前にマルテンサイト変態がほとんど開始されず、圧縮中にマルテンサイト変態が生ずることである。検討の結果得られた本発明の添加合金組成では、マルテンサイト変態開始温度は、概ね300～400℃の範囲にあり、加熱炉から焼結体を取り出して金型に挿入する場合、室温に対して十分に高温であり、圧縮前に焼結体内部のほとんどは変態を開始しない。

【0033】また圧縮を開始してからは、金型に接触すると同時に焼結体表面から冷却が開始される。次に圧縮が進むにつれて金型との摩擦熱、焼結体内部の加工熱により、50℃前後の若干の温度上昇が冷却途中で瞬間的に生じるが、金型と焼結体とが強く押しつけられているので、金型表面と焼結体表面との間の熱抵抗は極めて小さく、大きく熱拡散できるため冷却速度全体に大きく影響を与えることはない。したがって、焼入れ時のマルテンサイト変態に必要な、通常油焼入れに匹敵する150～200℃/秒程度の冷却速度を得ることが可能である。

【0034】一方、工業化可能な圧縮時間は長くても5秒以内と短くする必要があり、変態はこの短時間に生じさせる必要があるが、マルテンサイト変態は原子拡散によるものではなく、格子歪による無拡散変態なので十分にこの時間内で終了させることができる。

【0035】上記局面において好ましくは、焼結体はAe1点(共析温度)以上の温度から金型内に入れて圧縮されながら焼入れされる。

【0036】また上記局面において好ましくは、焼結体は7.2g/cm<sup>3</sup>以上の密度を有している。

【0037】高温に加熱した後、即時に金型内に充填するほど焼結体の軟化が維持されるため、圧縮による高密度が得られやすい。7.4g/cm<sup>3</sup>以上の高密度を必要とするカムロブの場合、圧縮直前の温度をオーステナイト化する平衡温度であるAe1点以上とし、圧縮前の室温時の焼結体密度を7.2g/cm<sup>3</sup>とすることで上記高密度を容易に得ることができる。

【0038】上記局面において好ましくは、粉末としてC以外の添加元素成分が予め固溶した鉄粉が用いられる。

【0039】上述したように、添加元素原子の偏析による焼結時の不均一収縮および材質の不均質を抑制するために、MoおよびCuは鉄粉末に予め固溶させておくのが望ましい。特にCuについては、単独粉末として配合して偏析が生じた場合、粗大空孔の生成、寸法歪の懸念が大きい。

【0040】なお、Cは予め鉄粉に固溶させてはならな

い。それは、Cが粉末を著しく硬化させるため成形圧縮時の密度が上がらず、甚だしい場合は成形体の一部が欠落してしまうためである。

【0041】上記局面において好ましくは、焼結体を金型内で圧縮しながら焼入れした後に140℃以上250℃以下の温度で大気中で加熱する工程がさらに備えられている。

【0042】焼入れのままの状態では、鉄結晶格子中にCが過剰に侵入状態で固溶するため格子が大きく歪んだ状態となっている。これは、高い硬度が得られる理由になっていると同時に、高いエネルギーを内在した不安定な格子状態ゆえに部品使用中に変質、寸法変化を生じたり、甚だしい場合には割れを生ずる理由ともなっている。

【0043】そこで再度加熱することによって、鉄合金の結晶格子中に過飽和に固溶しているC原子のうちの少量を炭化物として析出させ、安定な結晶格子状態にする必要がある。しかし逆に放出するC原子の量が多すぎると、鉄合金の結晶格子の歪緩和が必要以上に進み、カムロブ部品に必要な硬度が得られなくなってしまう。つまり、焼戻し温度が140℃未満ではC原子を炭化物として析出させる効果が得られず、250℃を超えるとC原子の放出量が多すぎて必要な硬度が得られなくなってしまう。

【0044】また、焼戻し温度範囲の選定として、カムロブ部品として実使用上の温度以上であることが安定して使用できる要件であるが、上記温度範囲はこれに矛盾することはない。

【0045】

【実施例】

実施例1

自動車エンジン用の組立カムシャフトの部品として用いる鉄系焼結合金のカムロブ部品の製造を検討した。耐摩耗上必要な特性は、密度が7.45g/cm<sup>3</sup>以上、ロックウェル硬度HRAは77以上であり、また規定外径寸法からの公差幅は50μmである。

【0046】粉末の成形圧縮性が高く、焼結時収縮による寸法劣化の小さい固相焼結が実現でき、焼入れ硬化性の高い合金として、Fe-Mo-Cを主合金とする種々の材料で予備検討を行なった。予備検討した粉末は、以下の(1)～(4)のものであった。またこれらの粉末には、成形圧縮時の金型との焼付を防止する目的で、重量比にして0.6%の固形潤滑剤を配合した。

【0047】

- (1) Fe-1.5%Mo-0.8%C
- (2) Fe-1.5%Mo-0.3%Cu-0.8%C
- (3) Fe-1.5%Mo-0.3%Cu-2%Ni-0.8%C
- (4) Fe-0.5%Mo-1.0%Cu-0.8%

C

いずれも、C以外のすべての添加元素成分を予め合金化した粉末と各元素を単独の粉末として配合した粉末との2種類を用意した。それらの粉末の各々を、5×10×60(mm)の角形試験片を形成する金型を用いて、130℃、9t/cm<sup>2</sup>の条件で成形圧縮した後、600℃×30分(水素雰囲気)の条件で潤滑剤を除去した。その後、850℃(窒素雰囲気)×1時間の条件で焼結をし、室温で10t/cm<sup>2</sup>の条件で再圧縮をし、1300℃(窒素雰囲気)×1時間の条件で焼結を行なった。この後、940℃(真空)で1時間保持し、80℃の油焼入れを行なった。この後、150℃(大気)×2時間の条件で焼戻しを行ない、最終密度が7.45～7.55g/cm<sup>3</sup>の焼結体試験片を得た。

【0048】(1)～(3)の組成の焼結体試験片では、77以上の硬度HRAが得られたが、(4)の組成の焼結体試験片では焼入れ硬化性を高くする元素Mo量が不十分で硬度HRAは75未満であった。また(4)の組成の焼結体試験片では、他の試験片と比較して寸法のばらつきが最も大きく、特に予合金粉末を用いない配合合金粉末でその傾向は顕著であった。また腐食組織観察の結果、Cuの偏析が観察され、100μm以上の大きさの粗大な空孔が観察された。

【0049】(3)の組成の焼結体試験片では高硬度が得られるものの、X線回折評価の結果、体積比にして17%以上の軟相であるオーステナイト相が観察された。また腐食組織観察の結果、特に予合金粉末を用いない配合合金粉末で、Ni(ニッケル)が富化した軟相が分散して生じており、巨視的には硬度が高くて、微視的には磨耗劣化が促進される低硬度領域があることがわかった。

【0050】(1)、(2)の組成の焼結体試験片では、共に78以上の硬度HRAが得られ、残留オーステナイト相が体積比にして8～11%であった。また腐食組織観察の結果、(2)の予合金粉末を用いない配合合金粉末を用いた試験片でわずかに不均一な組織が観察された以外、均一な焼戻しマルテンサイト相が観察された。寸法ばらつきは、(2)の予合金粉末を用いた試験片が最小であった。(1)の予合金粉末を用いた試験片と配合合金粉末を用いた試験片との寸法ばらつきと比較ではほとんど差がなかった。

【0051】(2)の予合金粉末を用いた試験片が最も寸法ばらつきが小さかった理由を調べるため、1300℃の焼結前後の寸法変化率を、Fe-1.5%Mo-X%Cu-0.8%C(X=0～2.0)の組成で系統的に調査した。

【0052】その結果、図1に示すように、60mm長の寸法に関して、Cu添加量が増加するにつれて、この組成範囲内では一律に焼結収縮量が減少することがわかった。ところが、0～0.2%Cuと0.5%以上のC

uとの組成範囲では、寸法分布が $30\mu\text{m}$ 以上と高く、すなわち寸法精度が低くなってしまうことが判明した。

【0053】 $0\sim 0.2\%\text{Cu}$ の組成範囲で寸法精度が低くなるのは、焼結による収縮量が大きすぎるためと考えられる。また $0.5\%$ 以上の $\text{Cu}$ の組成範囲で寸法精度が低くなるのは、 $\text{Cu}$ の含有量が多すぎるために $\text{Cu}$ 偏析による局所的な膨張効果によって形状が歪んだためと考えられる。この結果より、焼結後の寸法分布を高く維持するためには、 $0.2\%$ 以上 $0.5\%$ 未満の組成範囲となるように $\text{Cu}$ を添加することが適正であることが判明した。

【0054】なお、最も良好な結果を示した(2)の予合金粉末を用いた試験片で、カーボンのみ重量比 $1.5\%$ まで増加させた材料を評価した結果、圧縮性が劣化し、最終密度が $7.4\text{g}/\text{cm}^3$ 未満であったので除外した。また $\text{Mo}$ の添加量に関して、 $1.5\%$ で十分な焼入れ硬化性を示したのでそれ以上の添加量に関する予備検討は行なわなかった。

#### 【0055】実施例2

実際のカムロブ部品を作製するための粉末圧縮成形用、および再圧縮用の金型を準備して、実施例1の予備検討結果中、最良の硬度、組織均一性および寸法制御性を示した(2)の予合金粉末、すなわち $\text{Fe}-1.5\%\text{Mo}-0.3\%\text{Cu}-0.8\%\text{C}$ を用いて試作検討を行なった。

【0056】最終形状は、図2に示すように、外形長径 $50\times$ 同短径 $40\times$ 高さ $10\text{ (mm)}$ とし、リフト部先端の曲率半径を $4.6\text{mm}$ とし、組立孔の直径を $25\text{mm}$ とした。

【0057】その製造方法は、図3を参照して、 $1300^\circ\text{C}$ 、 $9\text{t}/\text{cm}^2$ の条件で成形圧縮(ステップS1)した後、 $600^\circ\text{C}\times 30\text{分}$ (水素雰囲気)の条件で潤滑剤を除去した(ステップS2)。そして $1300^\circ\text{C}$ (窒素雰囲気) $\times 1\text{時間}$ の条件での焼結(ステップS3)を経て、密度が $7.3\sim 7.4\text{g}/\text{cm}^3$ の範囲となるようにした後、窒素雰囲気中で $\text{Ae1}$ 点( $770^\circ\text{C}$ )以上である $800^\circ\text{C}$ に加熱してオーステナイト化した。この後、大気中に取り出し、即座に油性潤滑剤で表面を濡らした金型内にセットし、この金型内に $9\text{t}/\text{cm}^2$ の圧力を3秒間かけることで再圧縮を行なった(ステップS4)。

【0058】この圧縮条件により、圧縮直後の焼結体温度の平均は $180^\circ\text{C}$ であった。事前に $\text{He}$ で急冷可能な機械式熱膨張測定器で調査しておいたこの材料のマルテンサイト変態開始温度は $295^\circ\text{C}$ であったため、金型内で焼入れができたことは確認できた。この再圧縮までの工程を200個の試料について行ない、その後、熱風循環大気炉で、 $150^\circ\text{C}$ 、 $200^\circ\text{C}$ 、 $250^\circ\text{C}$ 、 $300^\circ\text{C}$ の各温度で50個ずつ焼戻し処理(ステップS5)をして、各試料の密度および硬度調査を行なった。

【0059】密度は、いずれの試料についても $7.50\sim 7.60\text{g}/\text{cm}^3$ の範囲内であり、各試料とも十分な緻密性を有していた。各試料の硬度 $\text{HRA}$ の下限値は、 $150^\circ\text{C}$ 、 $200^\circ\text{C}$ 、 $250^\circ\text{C}$ 、 $300^\circ\text{C}$ の各焼戻し温度の順番に、78、76、75、73であり、適正な焼戻し温度範囲は $250^\circ\text{C}$ までであることが明らかになった。最も硬度の高い $150^\circ\text{C}$ で焼戻した材料について寸法測定を行なった結果、標準偏差の6倍の数値は $30\mu\text{m}$ 未満であり、規格に対して十分な工程能力を有しているとともに、追機械加工による寸法出しが不要である経済的な粉末冶金工法であることを確認できた。

【0060】また、再圧縮時に加熱状態で大気に一時的に晒されるにもかかわらず、各試料中の酸素量は $0.005\%$ 未満であり、再圧縮前の酸素量と有意差がなかった。このため、焼入れ性を阻害する酸化が生じなかったため、腐食組織観察を行なったところ、予備検討時と同様な均一な焼戻しマルテンサイト相の生成していることが確認できた。

【0061】次に、試作した部品から試験片を切出して、磨耗試験を行なった。磨耗現象は、材質だけでなく、表面性状も影響を受けるため、図4に示すようにリフト部先端の表面をそのまま磨耗試験に供するように試験片を作製した。試験片として、上記に示した試作条件中、 $150^\circ\text{C}$ および $250^\circ\text{C}$ で焼戻した硬度 $\text{HRA}78$ 、 $75$ の部品から加工したもの(試作部品1、2)を準備し、また比較材料として、再圧縮圧力を $7\text{t}/\text{cm}^2$ に下げ、焼戻し温度を $200^\circ\text{C}$ として作製した硬度 $\text{HRA}73$ のもの(試作部品3)を準備した。またこれら試作部品1~3と同一寸法、同一形状を有し、従来製法である鑄造鉄合金の一体型カム部品から加工したもの(鑄造部品)も比較材料として準備した。そして、これらの各材料に磨耗試験を行なった。

【0062】なお、この鑄造部品の材料は、重量比にして $\text{Cr}$ 、 $\text{Mo}$ を各々約 $1\%$ 、カーボンを重量比にして約 $3\%$ 含んでいる。また鑄造材料であるため空孔はなく、密度は $7.82\text{g}/\text{cm}^3$ 、硬度はロックウェル硬度 $\text{HRA}$ で58である。

【0063】図5にその磨耗試験の概要を示す。図5を参照して、実際の使用状態では、カム側が回転し、バルブを直接駆動する相手部品側が固定であるが、本試験では、カム側の磨耗加速評価を行なうために逆の関係になっている。つまり試験片が治具に固定された上で相手部品側へ $90\text{kgf}$ の荷重で押しつけられた状態で、相手部品を $1000\text{rpm}$ で22時間回転させた。この磨耗試験中、試験片と相手部品との摺動面に、 $100^\circ\text{C}$ の温度のエンジンオイルを $2.50\text{cc}/\text{分}$ の量で供給した。なお、相手部品には、 $\phi 35$ の寸法の $\text{SCM420}$ の浸炭材を用いた。

【0064】この磨耗試験の評価結果を表1に示す。

【0065】



【表1】

|                         | 試作部品1 | 試作部品2 | 試作部品3 | 鑄造部品 |
|-------------------------|-------|-------|-------|------|
| 密度 (g/cm <sup>3</sup> ) | 7.53  | 7.57  | 7.42  | 7.82 |
| 硬度 HRA                  | 78    | 75    | 73    | 58   |
| 摩耗量 (μm)                | 18.5  | 20.1  | 34.0  | 19.8 |

【0066】この結果より、試作部品3は、密度および硬度がやや不十分で、鑄造部品の1.5倍以上の磨耗量を示した。一方、試作部品1および2は、鑄造部品とほぼ同等、もしくはそれ以上の良好な耐磨耗特性を示した。

【0067】以上より、本発明の組成範囲内にある鉄系焼結合金部品を本発明の方法で製造することにより、高硬度、高寸法精度および良好な耐磨耗性を有する材料の得られることが判明した。

【0068】なお、実施例1、2では本発明をカムロブに適用した場合について説明したが、本発明はカムロブ以外でも高硬度および高寸法精度の求められる部品であれば適用される。

【0069】今回開示された実施例はすべての点で例示であって制限的なものではないと考えられるべきである。本発明の範囲は上記した説明ではなくて特許請求の範囲によって示され、特許請求の範囲と均等の意味および範囲内でのすべての変更が含まれることが意図され \*

＊る。

#### 【0070】

【発明の効果】本発明によれば、成形圧縮性が高く、焼入れ硬化性が高く、かつ各工程前後で寸法ばらつきが小さく、追機械加工を極力抑えた経済的な耐磨耗材料を作製できるため、自動車エンジン用組立カムシャフト用のカムロブに最適な耐磨耗材料を得ることができる。

#### 【図面の簡単な説明】

【図1】Fe-1.5%Mo-X%Cu-0.8%Cの組成においてCu含有量Xを変化させた場合の収縮量と寸法分布とを測定した結果を示すグラフである。

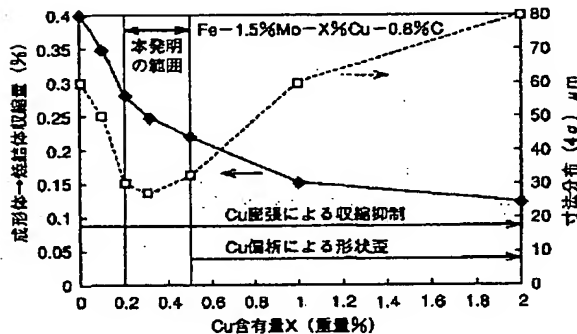
【図2】本発明の実施例2において作製する試料の形状を示す図である。

【図3】本発明の鉄系焼結合金部品の製造方法を示す工程図である。

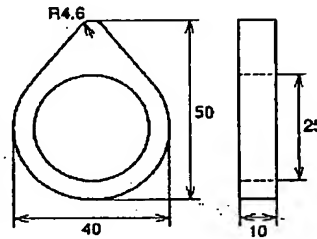
【図4】本発明の実施例2において耐磨耗試験を行なうための試料の形状を示す図である。

【図5】耐磨耗試験の概要を説明するための図である。

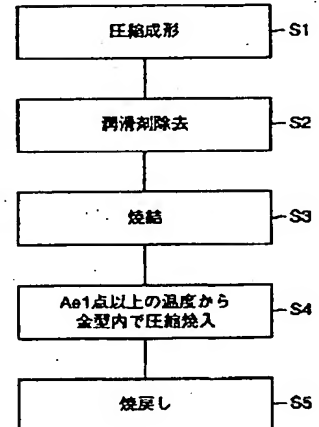
【図1】



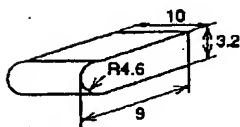
【図2】



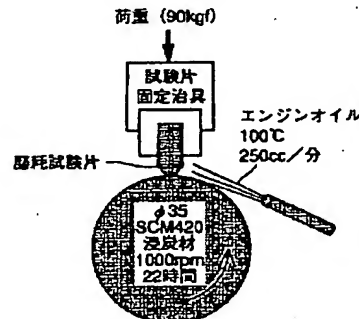
【図3】



【図4】



【図5】



フロントページの続き

(72)発明者 伊藤 嘉朗  
兵庫県伊丹市昆陽北一丁目 1 番 1 号 住友  
電気工業株式会社伊丹製作所内

(72)発明者 伊藤 耕三  
兵庫県伊丹市昆陽北一丁目 1 番 1 号 住友  
電気工業株式会社伊丹製作所内